

# PERFORMANCES HUMAINES

## LES ACCELERATIONS EN VOLTIGE ET LE PHENOMENE DU VOILE

### PLAN

1 – Définition .....	2
2 – Physiologie .....	2
3 – Le mécanisme du voile .....	5
a) Le voile gris .....	5
b) Le voile noir .....	6
c) La perte de conscience .....	6
4 – Retour d'expérience .....	6
5 – La sensibilité des sujets au phénomène du voile .....	7
6 – Les facteurs modifiant la tolérance aux accélérations .....	7
7 – Les moyens de défense contre le voile .....	8
a) Les manœuvres musculo-respiratoires .....	8
b) L'inclinaison du siège .....	8
c) Le choix de l'enchaînement des figures .....	8

Lionel ROMANIN

Commission Formation FFA

Groupe de travail ATO voltige

Cours FCL 800 / FCL 905FI

Version 2016 – 03

Stage sécurité FI voltige FFA

# VOLTIGE AERIENNE ET PHYSIOLOGIE HUMAINE

## LES ACCELERATIONS EN VOLTIGE ET LE PHENOMENE DU VOILE

### 1 – DEFINITION

On peut définir une accélération comme une variation de la vitesse, soit en augmentation, soit en diminution. **Quand la vitesse est constante, l'accélération est nulle.**

Son unité est le "mètre par seconde au carré" ( $m.s^{-2}$ ).

En voltige, on emploie couramment le "G" qui traduit l'unité de pesanteur terrestre :  $1 G = 9,81 m.s^{-2}$ .

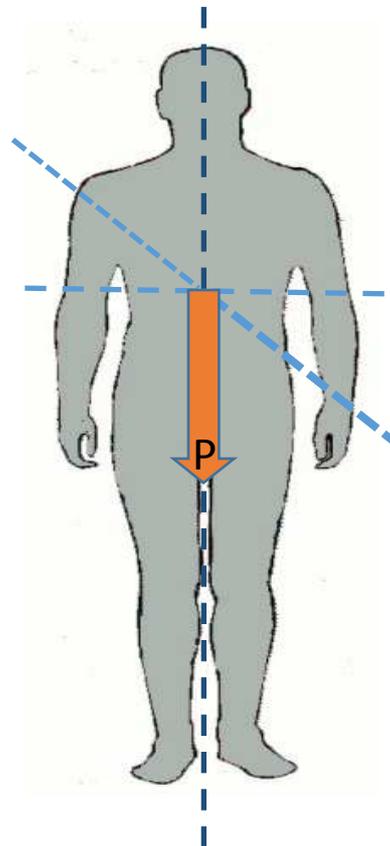


*Il est intéressant de montrer à un élève voltigeur que le cadran de l'accéléromètre de bord indique 1 G quand l'avion est au parking, et non pas 0, puisque nous sommes soumis, en permanence, au champ gravitationnel terrestre.*

### 2 - PHYSIOLOGIE

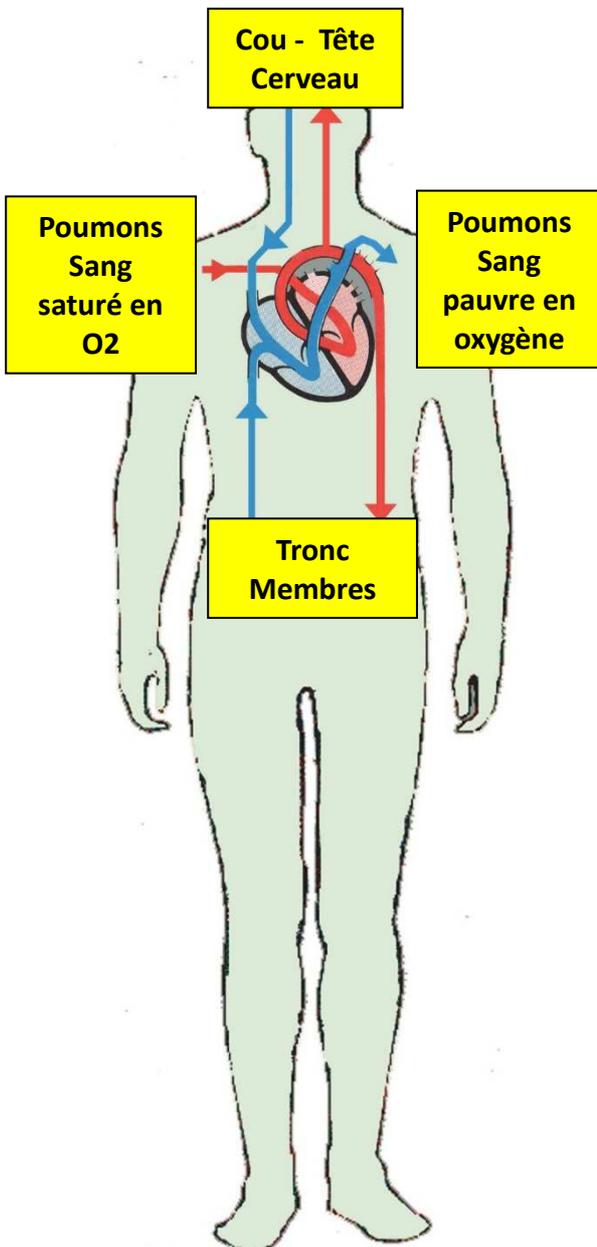
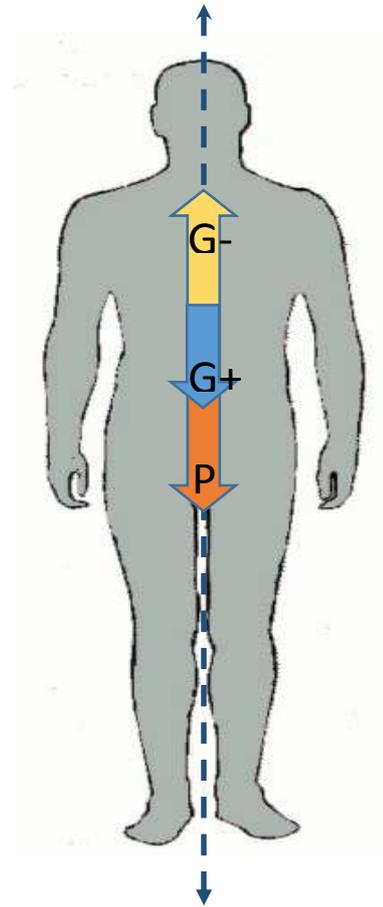
**L'être humain est sensible aux accélérations** et plus particulièrement à celles subies dans l'axe longitudinal, c'est-à-dire **de la tête aux pieds**.

C'est en effet sur cet axe que l'homme ressent la **force de la pesanteur terrestre** nécessaire au maintien de son équilibre.



Quand le corps subit une accélération, il ressent une force d'inertie qui s'ajoute ou s'oppose à la force de la pesanteur :

- Au cours d'une **accélération positive**, la composante de la force d'inertie appliquée sur l'axe tête-pieds **s'ajoute à la force de la pesanteur**.
- Au cours d'une **accélération négative**, la force d'inertie est orientée dans le **sens pieds-tête**.



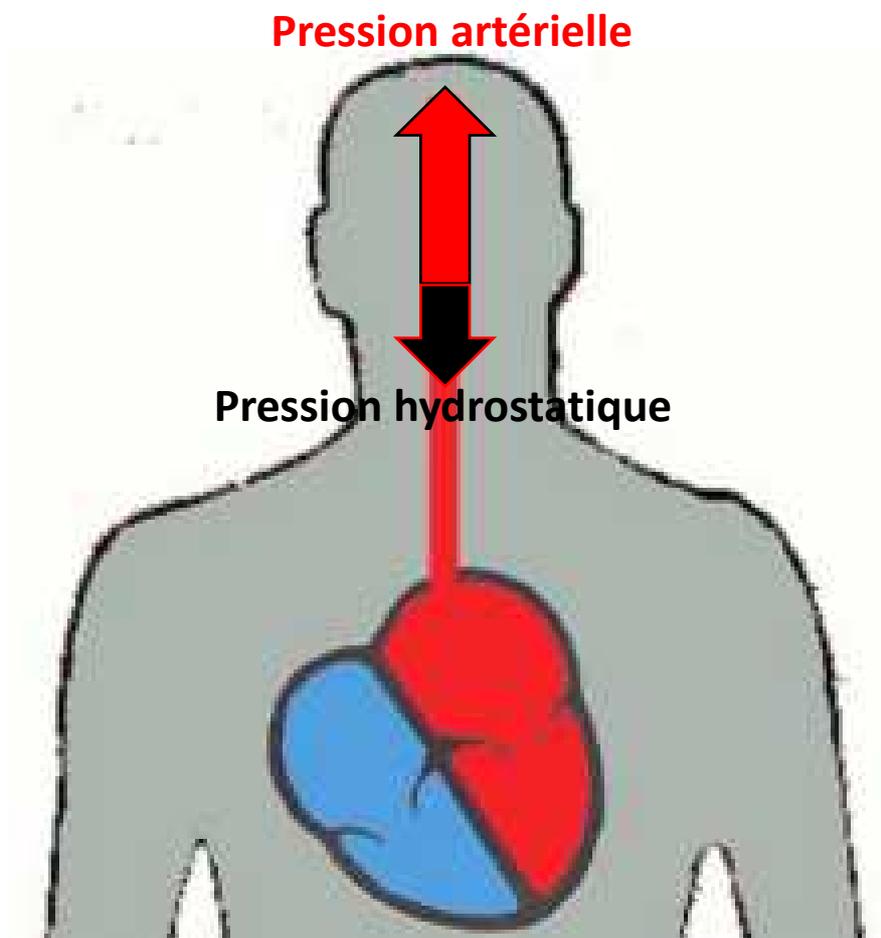
Les forces d'inertie engendrées par les accélérations s'appliquent à tous les organes du corps et en particulier à l'appareil cardio-vasculaire : le **cœur** (la pompe), les **vaisseaux** (le circuit), le **sang** (le fluide circulant).

Entre autres fonctions, la **circulation sanguine assure le transport de l'oxygène** (hémoglobine dans les globules rouges) indispensable au bon fonctionnement des organes et tout particulièrement du **cerveau** qui en est un grand consommateur.

**Le cerveau est exigeant sur la régularité du flux sanguin qui l'approvisionne.**

En clair, il n'aime ni les à-coups, ni les surcharges, ni les pénuries !

Comme le cœur est implanté dans le thorax, en position verticale (debout ou assise), la vascularisation du cerveau impose au courant sanguin de **lutter contre son propre poids (pression hydrostatique)** pour monter du cœur à la tête.

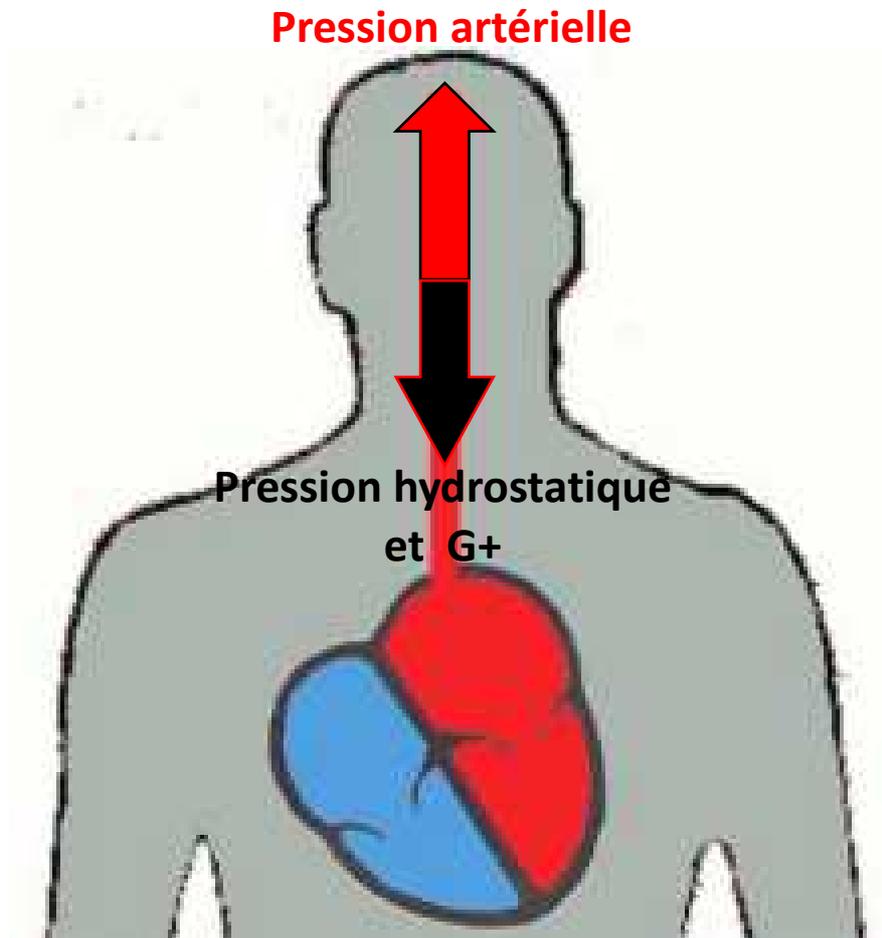


En situation normale (celle du terrien piéton), il existe un mécanisme complexe de contrôle de toute la machinerie (**système régulateur et d'adaptation**) qui assure au cerveau une circulation sanguine régulière et bien oxygénée, qu'il soit au repos ou en plein effort (**pression artérielle, rythme cardiaque**).

La pratique de la voltige aérienne perturbe ce bel équilibre ...

### 3 - LE MECANISME DU VOILE :

**Au cours d'une accélération positive**, la force d'inertie orientée sur l'axe tête-pieds va **s'ajouter à la force hydrostatique** et aggraver la situation en s'opposant au déplacement du sang du cœur vers la tête.



Au-delà d'une certaine valeur d'accélération, les mécanismes adaptatifs mis en jeu par le système régulateur sont dépassés.

**Il en résulte un ralentissement de la circulation, qui peut aller jusqu'à son arrêt complet.**

Ceci se traduit par le phénomène du « voile » qui se décompose en plusieurs stades :

a) **Le voile gris** :

Il traduit une **diminution importante de la circulation sanguine de la rétine** (couche cellulaire photosensible de l'œil) qui réagit aussi mal que le cerveau au phénomène d'hypoxie.

- Diminution de la vision périphérique (rétrécissement latéral du champ visuel)
- Diminution ou perte de la vision des couleurs (vision en noir et blanc)
- Diminution de l'acuité visuelle (vision floue)
- Diminution de la perception lumineuse (assombrissement de la vision)

b) **Le voile noir** :

Il traduit le stade où **il n'y a plus de circulation sanguine dans la rétine** (arrêt du flux sanguin), avec une conséquence simple :

- La perte complète de la vision (écran noir).

c) **La perte de conscience** :

Elle survient **lors de l'abolition de la circulation cérébrale**.

La perte de conscience est caractérisée par :

- La **phase d'inconscience** à proprement parler : elle peut durer de 5 à 30 secondes (moyenne 15 secondes), pendant lesquelles le cerveau du pilote est comme « éteint » (tous ses sens sont sur OFF). Le pilote n'a plus aucune conscience de la situation. Il peut être animé de mouvements des membres totalement involontaires assimilables à de petites convulsions.
- La **phase d'incapacité relative** : elle peut durer jusqu'à 50 secondes (en moyenne 15 secondes). Le pilote reprend lentement conscience quand la circulation cérébrale reprend, mais dans un état initial de désorientation spatiale et temporelle. Il lui faudra un certain temps pour réaliser qu'il est aux commandes d'un avion.
- La **phase d'incapacité totale** peut donc être comprise entre 5 secondes et plus d'une minute, **sans que cette durée soit prévisible**.



***Ce qu'il est important de savoir :***

*La perte de conscience peut survenir après la succession du voile gris et du voile noir mais peut également s'installer d'emblée, sans symptôme préalable. Il n'existe aucune linéarité temporelle entre les 3 stades, de telle sorte qu'il est impossible de prédire avec précision « si » et « quand » la perte de conscience se produira au cours d'un phénomène de voile.*

**4 - RETOUR D'EXPERIENCE :**

La reprise de la circulation cérébrale « réveille » l'ouïe avant la vue, avec une perception de bourdonnement lointain et assourdi qui correspond en fait au bruit du moteur, alors que la cécité liée à l'hypoxie rétinienne et des aires cérébrales de la vision peut persister quelques secondes de plus.



*Cette caractéristique doit être mise à profit lors de la supervision d'un vol par un FI ou un entraîneur au sol, qui doit stimuler rapidement le pilote par la voix à la radio en cas de trajectoire erratique et inattendue dans une phase de vol où un phénomène de voile est possible.*

## 5 - LA SENSIBILITE DES SUJETS AU PHENOMENE DU VOILE :

Elle est très variable, avec des écarts importants entre les valeurs extrêmes dans les études réalisées en médecine aéronautique sur des sujets en état de relâchement musculaire :

- Voile gris : 2,2 G à 7,1 G ; moyenne : 4,1 G
- Voile noir : 2,7 G à 7,8 G ; moyenne : 4,7 G
- Perte de conscience : 3,0 G à 8,4 G ; moyenne : 5,4 G



*Il est évident que l'entraînement régulier du pilote améliore sa tolérance aux accélérations. Toutefois, il est important de « s'échauffer » aux G+ en début de séance, avec une intensité progressive des facteurs de charge au cours des premières figures. Il faut parfois tempérer l'ardeur des jeunes voltigeurs qui n'hésitent pas à s'infliger du +3G ou +4G dans les virages de montée dans le box ou dans la première prise d'axe !*

## 6 - LES FACTEURS MODIFIANT LA TOLERANCE AUX ACCELERATIONS :

Plusieurs facteurs peuvent modifier la tolérance aux accélérations :

- **La chaleur** : elle entraîne une dérivation de la circulation vers les vaisseaux superficiels et la dilatation des vaisseaux sous cutanés pour éliminer les calories à travers la peau.
- **La déshydratation** : elle diminue la quantité de sang qui circule.
- **La digestion** : elle dérive une partie du sang vers les organes digestifs qui sont en pleine production, au détriment du reste du corps.

Il est évident que tous ces mécanismes fonctionnent au détriment du cerveau si sa circulation est perturbée par les effets d'une accélération positive.

On peut également noter :

- Les conditions physiques du jour : **état de fatigue**, qualité du sommeil des nuits précédentes.
- La qualité de l'alimentation : digestion difficile d'un repas lourd, fermentation intestinale (gaz digestifs gênants voire douloureux).
- La **place de pilote** (actif) ou de passager (passif qui subit).



*Les pilotes de voltige autorisés à l'emport d'un passager doivent absolument faire un briefing à leur passager pour lui expliquer (entre autre) où regarder et comment respirer pendant le vol, et adapter le vol à la tolérance physique du passager, en évitant tout ce qui peut être ressenti comme désagréable (vol négatif, vrilles, déclenchés, ...) ou générateur de voile (succession G-/G+).*

## 7 - LES MOYENS DE DEFENSE CONTRE LE VOILE :

Ils concernent le pilote de voltige sportive (sans dispositif anti-G).

a) **Les manœuvres musculo-respiratoires :**

Elles ont pour but de :

- **Diminuer la distance cœur-tête** (hauteur de la colonne hydrostatique) : tête rentrée dans les épaules et penchée en avant, membres inférieurs relevés (dans la mesure du possible en fonction de la position de pilotage).
- **Ralentir la chasse du sang du cœur vers les membres inférieurs** et améliorer le retour du sang de l'abdomen et des membres inférieurs vers le cœur : contraction volontaire des muscles abdominaux et des membres inférieurs.
- **Provoquer une surpression intra-thoracique** qui s'oppose à l'effet de l'accélération positive : inspiration profonde et rapide suivie d'une expiration forte, soit en expulsant l'air (grognement ou même cri), soit à « glotte fermée » (manœuvre de Valsalva) en contractant fortement le diaphragme et les muscles du cou et en expulsant l'air par saccade toutes les 3 secondes. Ceci peut améliorer la tolérance de l'ordre de + 2G.

Ne pas oublier de profiter des paliers pour respirer et se ré-oxygéner !

b) **L'inclinaison du siège (si possible, en fonction des avions) :**

Elle **améliore la tolérance aux accélérations positives** en réduisant la composante tête-pieds de la force d'inertie.

c) **Le choix de l'enchaînement des figures :**

Les accélérations négatives provoquent des mécanismes d'adaptation inverses à ceux des G+, sans caractéristique particulière sinon un ressenti plus désagréable en général.

Elles déclenchent des mécanismes adaptatifs qui peuvent se prolonger plusieurs secondes, parfois jusqu'à 1 minute.

**Le problème essentiel se pose dans la succession de G- et de G+** (effet push pull : piqué - cabré) qui est **particulièrement mal tolérée**. Il en résulte une perturbation des mécanismes d'adaptation et une plus grande sensibilité au phénomène de voile et/ou de perte de conscience qui peuvent survenir dès + 2G.

L'inversion dans le sens G+ / G- ne pose en général pas de problème.



*L'intolérance aux inversions G-/G+ doit être prise en compte dans la construction des programmes de voltige, par le FI pendant la formation, par les rédacteurs des programmes de compétition, par les entraîneurs qui supervisent les vols des pilotes en solo.*

\* \* \* \* \*